الجامعة	**الانبار**
الكلية	**العلوم**
القسم	**الفيزياء**
المرحلة	**الثانية**
اسم المادة باللغة العربية	**الصوت والحركة الموجية**
اسم المادة باللغة الانكليزية	**Sound and Wave motion**
اسم التدريسي	**م.م. صباح سلطان فرحان**
عنوان المحاضرة باللغة العربية	**الانعكاس والامواج الموقوفة او المستقرة**
عنوان المحاضرة باللغة الإنكليزية	**Reflection and Standing waves**
رقم المحاضرة	**6**

الانعكاس والامواج الموقوفة او المستقرة Reflection and Standing waves

تقسم الموجات من حيث حالتها الحركية الى نوعين: منتقلة traveling wave
و ساكنة (موقوفة) Standing wave

الموجات المنتقلة ـ المسافرة هي الموجات التي تسير دون إعاقة ـ مسافرة.

الموجات الموقوفة ــ هي الموجات التي تنشا من تراكب رتلين من الأمواج متماثلين في التردد والسعة ويسيران في اتجاهين متعاكسين ومحصورين بين نقطتين ثابتتين.

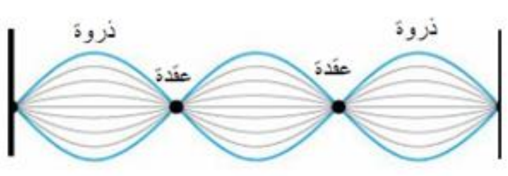
الموجة الموقوفة ـ هي الموجة التي تحتوي على عقد بينها بطون وتنشأ نتيجة لتداخل موجتين متساويتين في الطول الموجي والسعة ومنتشرتين في اتجاهين متضادين كما في الشكل (1).

البطن ـ هو موضع في الموجة الموقوفة يكون عنده سعة الاهتزازة اكبر ما يمكن.

العقدة ـ هي موضع في الموجة الموقوفة تكون عنده سعة الاهتزازة لجزيئات الوسط صفرا.

طول الموجة الموقوفة ـ ضعف المسافة بين عقدتين متتاليتين أو بطنيين متتاليين.

في الموجات الموقوفة لا يحدث نقل للطاقة كما في الموجات المنتقلة لأن الموجات الساقطة والمنعكسة تنقل الطاقة في اتجاهين متعاكسين.

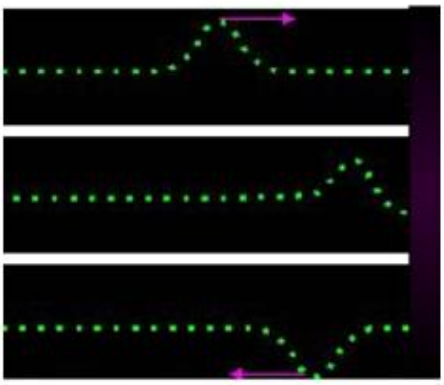


الشكل (1)

الموجات الموقوفة تتكون عندما تتداخل موجتين: لهما نفس السعة , لهما نفس التردد, تنتقلان في اتجاهين متعاكسين.

لو أمسكنا بطرف حبل مربوط بالحائط ومشدود بقوة ما ثم قمنا بهزه من طرفه الآخر بشكل متواصل إما باليد أو بواسطة رنانة كهربائية مثلا، عندئذ تنتشر موجة على امتداده إلى أن تصل لطرفه المثبت بالحائط فتنعكس عنه وترتد بالاتجاه المعاكس لتتداخل مع الموجة الأصلية. وتشاهد نفس الظاهرة عند انتشار أمواج دائرية في بحيرة ماء عندما تصل لمانع أو حاجز فتنعكس عنه وتتداخل الأمواج القادمة مع المرتدة بشكل جميل وأخاذ. وفي كلا الحالتين يأخذ الوسط شكلا ثابتا متميزا إذ تهتز أجزاء منه بسعة كبيرة بينما تبقى نقاط أخرى ساكنة تماما. ويطلق على هذا المنظر اسم **أمواج موقوفة** *(standing waves)*.

ويمكن فهم ظاهرة انعكاس الأمواج بمتابعة نبضة *(pulse)* تنتشر على امتداد الحبل لليمين، كما في الشكل (2)، فعندما تصل النبضة للحائط تؤثر على الحبل بقوة للأعلى فيرد عليها بقوة للأسفل مما يولد نبضة معاكسة تتحرك لليسار. ونلاحظ من الشكل (2) أن شكل النبضة لايتغير لكنها تصير مقلوبة. فهناك فرق في الطور بمقدار π بين الاهتزازتين.



الشكل (2)

لنفترض الآن أن موجة تنتشر في الحبل نحو اليمين لتصل لنهايته المربوطة بالحائط فتتولد عندها موجة منعكسة تتحرك لليسار وتتداخل مع الأولى مشكلة أمواجا مستقرة. ويمكن الحصول على المعادلة التي تصف هذه الأمواج بفرض أن الأولى تكتب بالشكل:

$$y_1 = A\sin(\omega t - kx)$$

بينما تنتشر الموجة المنعكسة باتجاه محور السينات السالب وتكتب بالشكل:

$$y_2 = -A\sin(\omega t + kx)$$

حيث أضفنا الإشارة السالبة لأنها تختلف عن الموجة الأولى بالطور بمقدار π. فإذا وصلت هاتان الموجتان لنفس النقطة من الوسط المهتز تصير معادلة الحركة لها:

$$y_T = y_1 + y_2 = A[\sin(\omega t - kx) - \sin(\omega t + kx)] \qquad 1$$

وبالاستفادة من العلاقة:

$$\sin\alpha - \sin\beta = 2\sin(\frac{\alpha-\beta}{2})\cos(\frac{\alpha+\beta}{2})$$

نجد

$$y_T = -[2A\sin(kx)]\cos\omega t$$

او

$$y_T = A(x)cos(\omega t)$$

حيث

$$A(x) = -2Asin(kx)$$

فالنقطة ستتحرك حركة اهتزازية بسرعة زاوية ω كالموجتين الأصليتين تماما، إلا أن سعتها تعتمد على بعدها عن بداية الحبل. فهناك نقاط سعتها العظمى أكبر مايمكن وتساوي $A(x) = 2A$ إذا كان بعدها عن منبع الاهتزازات (بداية الحبل) يحقق العلاقة:

$$\sin(kx) = \pm 1 \quad \Rightarrow \quad kx = (2n+1)\frac{\pi}{2} \quad \Rightarrow \quad \frac{2\pi}{\lambda}x = (2n+1)\frac{\pi}{2}$$

أي إذا كان:

$$\boxed{x = (2n+1)\frac{\lambda}{4}} \qquad n=0,1,2,...$$

أي أن كل النقاط التي تبعد عن بدا ... على والأسفل بسعة $2A$ وتسمى كل واحدة **ذروة** أو بط

وبنفس المنطق ستكون هناك نقاط سعتها معدومة دائما لأنها تحقق العلاقة:

$$\sin(kx) = 0 \quad \Rightarrow kx = n\pi \quad \Rightarrow \quad \frac{2\pi}{\lambda}x = n\pi$$

أي عندما تكون:

$$\boxed{x = n\frac{\lambda}{2}} \qquad n=0,1,2,3,...$$

.

أي أن كل النقاط التي تبعد عن بداية الحبل بمقدار $0,\frac{\lambda}{2},\lambda,\frac{3\lambda}{2},2\lambda,\ldots$ ستبقى ساكنة تماما، وتسمى كل واحدة **عقدة** *(node)*. ويوضح الشكل (**2**) مواضع الذروات والعقد في حبل مشدود.

الرنين Resonance

بالرغم من ان انتقال الموجة في وتر مشدود بامكانها تنتقل باي طول موجي, الا ان الوتر المربوط الطرفين يفضل اطوال موجية معينة للموجة (ترددات معينة) المنتقلة خلاله تدعى *بالترددات الرنينية*.
إذا شددت وتر وتركته يهتز بحرية، سوف يهتز الوتر عند ترددات محددة بسعة كبيرة. يسمى هذا التأثير الرنين.
اقل تردد يمكن ان يحدث عنده الرنين يسمى النغمة الأساسية أو النغمة التوافقية الأولى والذي تكون السعة أكبر ما يمكن عند منطقة الوسط من الوتر.

سندرس في هذه الفقرة شرط تشكل أمواج مستقرة في حبل طوله L وكثافته الطولية μ ومشدود بقوة T في الحالتين التاليتين:

1- الانعكاس عن نهاية ثابتة:

إذا انتشرت موجة في حبل مشدود من طرفيه فإنها تنعكس عن نهايته الثابتة وتتداخل مع الموجة القادمة من المنبع. فحتى تتشكل أمواج مستقرة في الحبل يجب أن يكون طوله مساويا لعدد صحيح من نصف طول الموجة، أي:

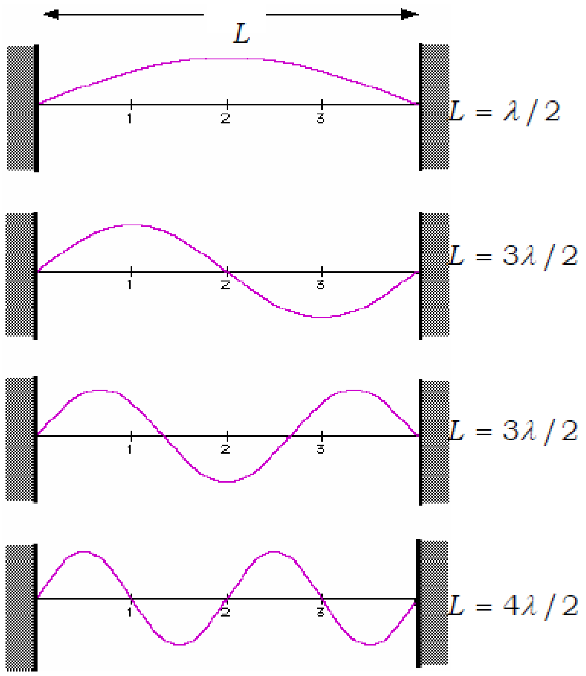
$$L=(n+1)\frac{\lambda}{2},\quad n=0,1,2,3,\ldots \qquad 1$$

ويوضح الشكل (1) شكل الحبل من أجل عدة قيم لـ n. وإذا افترضنا أن تردد الحركة الاهتزازية التي تبدأ عند بداية الحبل هي f، عندئذ نكتب طول الموجة:

$$\lambda=\frac{v}{f}$$

وبتعويض ذلك في (1) نجد:

$$L=(n+1)\frac{v}{2f}$$



الشكل (1)

اي ان

$$\boxed{f_n = (n+1)\frac{v}{2L}} \quad , \quad n=0,1,2,.... \qquad 2$$

أي أنه إذا انتشرت موجة في حبل طوله L فإن الأمواج المستقرة لاتتشكل إلا إذا كان تردد الحركة الاهتزازية من المنبع يحقق (2)، أو إذا غيرنا طول الحبل أو سرعة الانتشار (بتغيير الشد مثلا أو كثافة مادة الحبل) ليتوافق مع التردد المفروض. ونلاحظ من العلاقة (2) أن أقل تردد ممكن في حبل مشدود هو:

$$f_0 = \frac{v}{2L}$$

ويسمى **التردد الأساس** *(fundamental frequency)*، ونكتب (2) بالشكل:

$$\boxed{f_n = (n+1)f_0}$$

وتدعى f_n **المتوافقات** (harmonics) فنسمي f_1 المتوافقة الأولى (first harmonics) وf_2 المتوافقة الثانية (second harmonics)، وهكذا.

وهذه هي الترددات الرنينية.

مثال

وتر عود طوله 1 م وكتلته 20 غم مثبت من طرفيه ومشدود بقوة 20 نت. جدي: (1) التردد الاساس والمتوافقت الثلاث الاولى للموجة المنتشرة في الوتر. (ب) اقل طول حبل يجب تقصير الوتر لسماع ترددات 150 هيرتز.

الحل: لنحسب أولا سرعة انتشار الموجة في الحبل فنكتب:

$$v=\sqrt{\frac{T}{\mu}}=\sqrt{\frac{T}{(m/l)}}=\sqrt{\frac{20\ \mathrm{N}}{(20\times10^{-3})/(1\ \mathrm{m})}}=31.6\ \mathrm{m/s}$$

ومن ثم نجد الترددات الممكنة:

$$f_n=(n+1)\frac{v}{2L}=(n+1)(15.8\ \mathrm{Hz})$$

فالتردد الأساس f_0=15.8 Hz والمتوافقات الثلاث الأولى f_1=31.6 Hz وf_2=47.4 Hz وf_3=63.2 Hz.

(ب) إذا كان التردد يساوي 150 Hz عندئذ نجد شرط تشكل أمواج مستقرة هو:

$$L=(n+1)\frac{v}{2f}=(n+1)\frac{31.6}{2(150)}=(n+1)(0.105\,m)=(n+1)(10.5\,cm)$$

ولان

$$\boxed{f_n=(n+1)f_0}$$

$$150=(n+1)15.8 \;\Rightarrow\; n=8.49$$

ونحصل على أصغر مسافة يمكن تقصير الوتر بها بوضع n=8 (لماذا؟) ليصير طوله الجديد 94.8 cm. ويتم عادة تغيير الطول بالضغط على طرف الوتر بالأصابع، كما هو معروف لمن يعزف على العود.

2- الانعكاس عن نهاية حرة:

نفترض الآن أن موجة تنتشر في حبل ذو نهاية حرة لتصل لآخره وتنعكس عنها فتتداخل مع الأمواج القادمة وتتشكل أمواج مستقرة. ونلاحظ أن شرط تشكل هذه الأمواج هو أن يكون طول الحبل محققا للعلاقة:

$$\boxed{L=(2n+1)\frac{\lambda}{4}} \quad , \quad n=0,1,2,...$$

وبتعويض λ بدلالة التردد وسرعة الانتشار نجد:

$$L=(2n+1)\frac{\upsilon}{4f}$$

أو

$$\boxed{f_n=(2n+1)\frac{\upsilon}{4L}} \quad , \quad n=0,1,2,...$$

فالتردد الأساس هو

$$f_0=\frac{\upsilon}{4L}$$

والمتوافقات:

$$f_n=(2n+1)f_0 \quad , \quad n=0,1,2,...$$